

А. А. Коренев, В. В. Ушакова, С. В. Гриб*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *С. В. Гриб*

**s.v.grib@urfu.ru*

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО СПЛАВА VST3553

Методом РЭМ исследовано влияние продолжительности нагрева на микроструктуру, фазовый состав прутков модифицированного сплава VST3553, прошедших горячую деформацию. Показана взаимосвязь структуры с микротвердостью сплава.

Ключевые слова: горячая деформация, нагрев, микроструктура, микротвердость.

A. A. Korenev, V. V. Ushakova, S. V. Grib

INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE HEATING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MODIFIED VST3553 ALLOYS

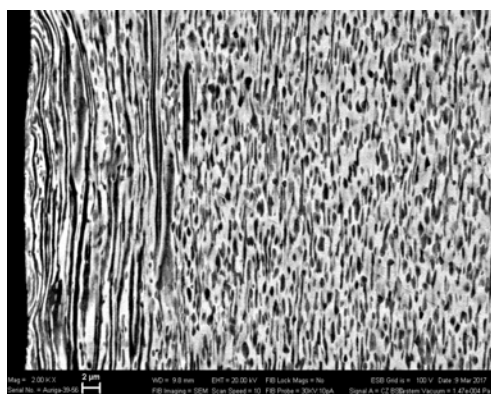
The influence of heating time on the microstructure, phase composition of the modified alloy VST3553 bars after hot deformation by the SEM method was studied. The relationship of the structure and microhardness of the alloy is shown.

Keywords: hot deformation, heating, microstructure, microhardness.

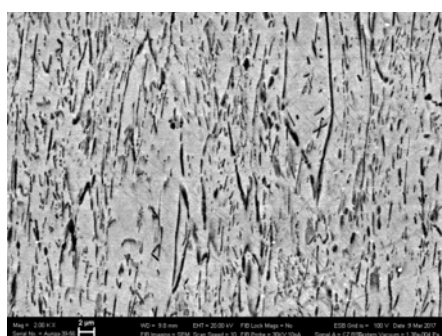
Целью настоящей работы является исследовать влияние длительности нагрева на структуру и свойства прутков модифицированного сплава VST3553 (дополнительно легированного цирконием и оловом) прошедших горячую деформацию. Основными методами исследования являются растровая электронная микроскопия (РЭМ), измерение твердости по Виккерсу методом микроиндентирования.

После горячей деформации структура сплава характеризуется сильной неоднородностью по сечению прутка. На периферии прутка наблюдаются сильно вытянутые по направлению деформации β -зерна, на границах которых первичная α -фаза образует строчечную, а иногда и сплошную, оторочку (рис. 1, *а*). Зернограницные частицы достаточно крупные, в поперечном сечении их диаметр может составлять порядка 2 мкм. Внутри β -зерен наблюдаются более мелкие выделения α -фазы, диаметром менее 0,5 мкм. Ширина зоны сильно деформированной

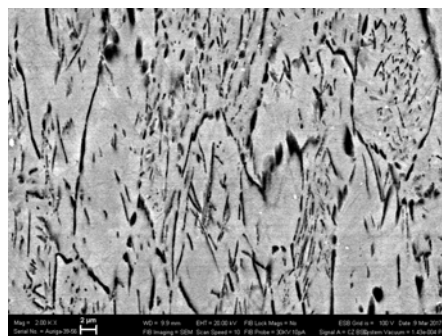
структуры составляет порядка 20...40 мкм. При смещении от края прутка на расстояние более чем 40 мкм, характер структуры несколько изменяется – исчезает явное различие между зернограницной и внутризеренной α -фазой (рисунок 1, б). При дальнейшем смещении к центру прутка деформация β -зерен становится меньше и, как следствие, отчетливее видны внутризеренные выделения α -фазы. Зернограницная α -оторочка сохраняется (рис. 1, в). Подобный характер микроструктуры свидетельствует о том, что поверхностные объемы прутка претерпевают большую степень деформации, чем внутренние.



а



б



в

Рис. 1. Микроструктура модифицированного сплава VST3553 после горячей деформации (продольное сечение): а – край; б – середина; в – центр прутка

Проведение последующего нагрева 770 °С, 2...8 ч способствует протеканию процесса рекристаллизации по всему сечению прутка в тем большей степени, чем больше длительность выдержки. Форма новых недеформированных β -зерен стремиться к форме правильных многогранников, а частицы α -фазы становятся более крупными (по-видимому, вследствие процесса коагуляции), распределяются преимущественно по границам новых недеформированных зерен и приобретают близкую к глобулярной форму (рисунок 2, а–е).

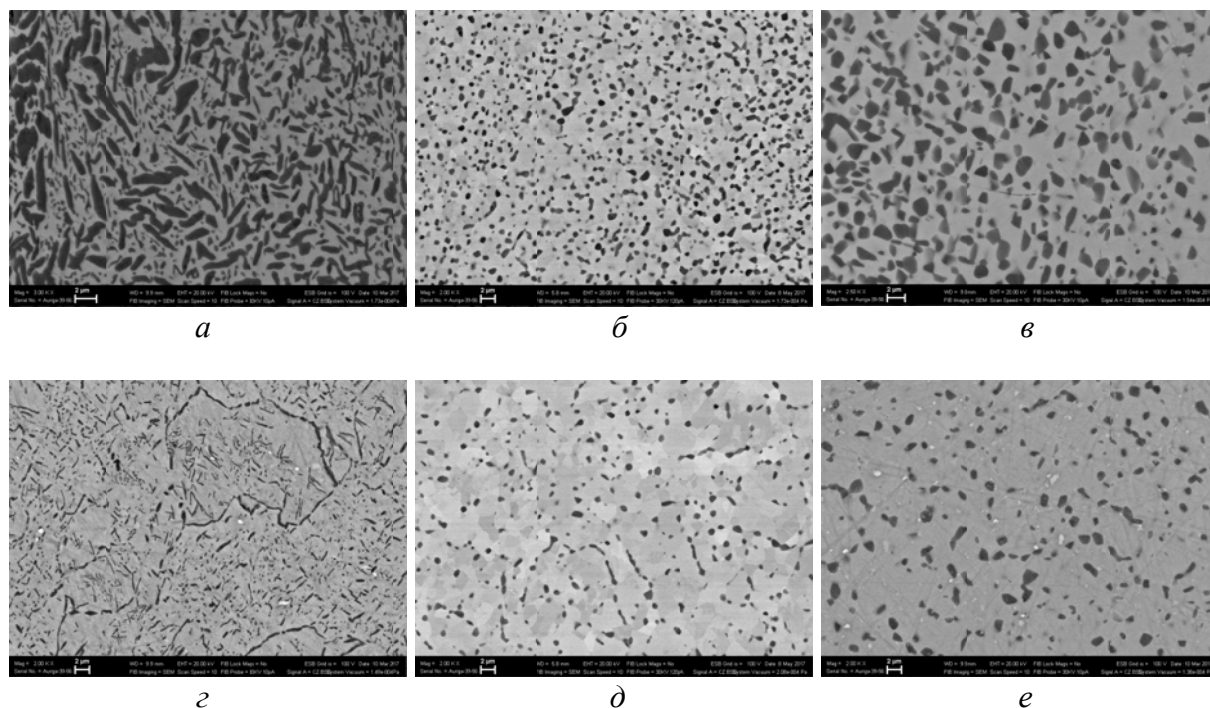


Рис. 2. Микроструктура модифицированного сплава VST3553 в поперечном сечении прутка после горячей деформации (а, г) и последующего нагрева 770 °С, 2 ч (б, д) и 8 ч (в, е): а, б, в – область края прутка; г, д, е – центр прутка

Следует отметить, что α -фаза неравномерно распределяется по сечению прутка модифицированного сплава VST3553 после горячей деформации (рис. 3). Значения ее объемных долей с края и в центре прутка различаются в 2–3 раза. Это свидетельствует о том, что температура поверхностных объемов прутка была ниже, чем внутренних.

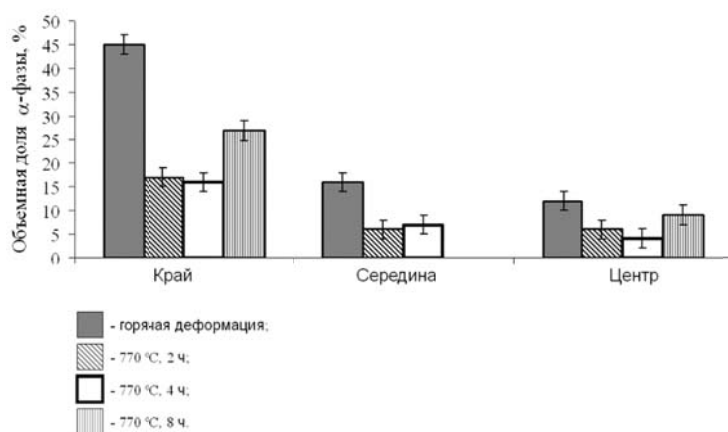


Рис. 3. Изменение объемной доли α -фазы по сечению прутка модифицированного сплава VST3553 после горячей деформации и нагрева 770 °С 2, 4 и 8 ч

Последующий нагрев способствует, как общему снижению объемной доли α -фазы в сплаве, что, по-видимому, обусловлено более

высокой температурой нагрева (770 °С) по сравнению с температурой деформации (порядка 750 °С), так и уменьшению разброса ее значений от края к центру – разброс значений по объемной доли составляет 33 % для горячекатаного состояния и 11–12 % для отжига в течение 2–4 часов. Наблюдаемое после 8-ми часовой выдержки некоторое увеличение объемной доли α -фазы (до 27 % с края и до 9 % в центре прутка), по нашему мнению, обусловлено химической неоднородностью сплава по длине прутка, вызванное нейтральными упрочнителями (цирконием и оловом), которые, вследствие их низких коэффициентов диффузии, затрудняют диффузионное перераспределение остальных легирующих элементов.

Неоднородность микроструктуры модифицированного сплава VST3553 по сечению прутка оказывает существенное влияние на свойства сплава, в частности на микротвердость. Максимальное значение микротвердости имеет сплав после горячей деформации (352 HV) вследствие высокой плотности дефектов и большей объемной долей α -фазы, по сравнению с состоянием после нагрева (2 ч – 318 HV, 4 ч – 331 HV, 8 ч – 329 HV). При этом в центре прутка твердость ниже, чем на его периферии – 348 и 358 HV соответственно (рис. 4, а). Проведение последующего нагрева до 770 °С с различным временем выдержки и охлаждением на воздухе приводит к общему снижению твердости и уменьшению разброса значений по сечению образца ΔHV : горячая деформация – 33 HV; 2 ч – 24 HV; 4 ч – 29 HV; 8 ч – 25 HV (рис. 4, б). Некоторое увеличение микротвердости, а также разброса ее значений после нагрева в течении 4 часов по сравнению с 2 часами (рис. 4, а, б), возможно, обусловлено твердорастворным упрочнением вследствие растворения частиц α -фазы, а более высокое значение микротвердости для 8-ми часовой выдержки по сравнению с 2-мя часами – химической неоднородностью, как было отмечено выше.

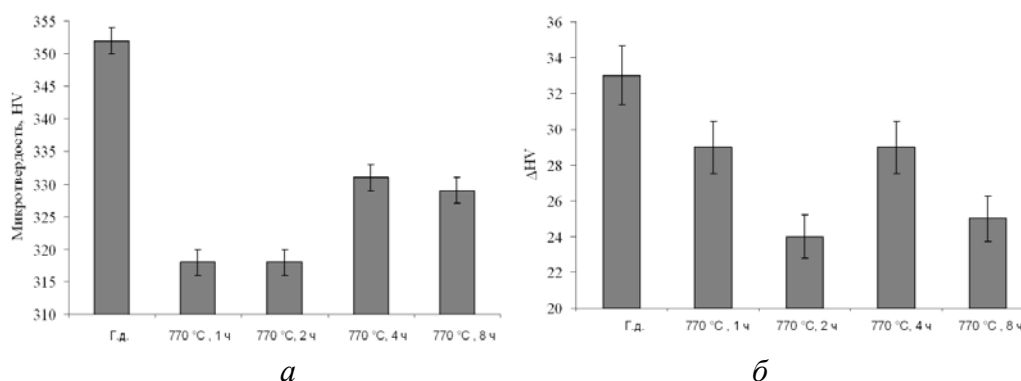


Рис. 4. Среднее значение микротвердости (а) и разброс ее значений (б) модифицированного сплава VST3553 после горячей деформации (г. д.) и нагрева до 770 °С с различным времени выдержки (2, 4, 8 ч)

Таким образом, неоднородность температурного и деформационного полей по сечению прутков при горячей деформации модифицированного сплава VST3553 приводит как к структурной, так и фазовой неоднородности, что, в свою очередь, вызывает анизотропию свойств, в частности, микротвердости, что может быть исправлено проведением последующего нагрева при 770 °С в течение 2 ч. Более длительные времена выдержек (более 2 ч) могут приводить к некоторому увеличению разброса значений микротвердости по сечению прутка вследствие более развитого процесса коагуляции частиц α -фазы.

В работе использованы результаты, полученные в лаборатории «Структурных методов анализа и свойств материалов и наноматериалов» Центра коллективного пользования УрФУ.